

学校编码: 10384 分类号__密级__
学号: 23320121152975 UDC__

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

线性调频信号水声调制技术的研究

Research of Underwater Acoustic Communication System based on Linear Frequency Modulated Signal

林晓阳

指导教师姓名: 程 恩 教授

袁 飞 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

水声信道是一种多径效应强、传输延迟高、多普勒效应明显，频率选择性衰落和时间选择性衰落严重的信道。由于水声信道可用的带宽有限，所以通信速率较低，此外，声波在水的介质中传输速率只有 1500m/s，即便收发两端发生较小的相对运动也能导致比无线信道更加严重的多普勒效应。

按照信息的传输速率，可将水声通信的类型分为高速通信和低速通信，而按照工作频段分，可分为高频、中频以及低频通信。高速通信主要应用在近距离的场景，工作频率主要在高频段，一般在几十 KHz-几百 KHz 不等，主要采用的是多载波技术，例如 OFDM 等。低速通信主要应用在远距离场景，工作频率主要在低频段，几百赫兹到几千赫兹，主要采用的是脉冲位置调制、扩频，以及频移键控等等。

扩频技术主要采用的是 DSSS，可在低信噪比的环境下较好的通信，但通信速率较低。针对 DSSS 调制方式通信速率较低的问题，国内外一些学者提出了 M 元混沌扩频通信方式，提高了 DSSS 系统的通信速率，但系统较为复杂，抗多普勒效应较差。相关学者也提出了基于 Chirp 信号的 Fractional Fourier Transform(FRFT)的扩频方式，但计算量较大。本文提出了一种新型的通信方式 Chirp-Cyclic Shift Keying (Chirp-CSK)，利用 Chirp 信号的本身循环移位特性进行调制，通过 Chirp 信号的分片时长携带比特信息，接收端利用匹配滤波进行解调，单载波的情况下频带利用率可达 0.5bps/Hz，在实际的低信噪比海洋环境下具有较高的鲁棒性，误比特率达 10^{-3} 级。

论文的主要工作点如下：

- (1) 介绍了水声信道下扩频技术的相关原理，并分析了常见的水声扩频技术的优点以及缺陷。
- (2) 根据水声信道特性，设计出一套水声通信的帧格式方案、信道估计及时间反转处理等，并在海洋环境下获得验证。

- (3) 分析了海洋的背景噪声、多径效应以及强多普勒效应下对 Chirp 信号的检测造成的影响。根据 Chirp 信号以及水声信道的传输特性，设计出一套 Chirp-FRFT 通信方式。
- (4) 根据目前 Chirp 扩频技术的缺点，提出了 Chirp-CSK 通信方案，并对其抗多径、抗噪性能进行分析，并在海洋环境下获得了验证。
- (5) 总结与展望。

关键词：水声通信；Chirp 信号

ABSTRACT

Underwater acoustic channel is a channel that has a serious multipath and significant delay along with frequency-time selective fading. As its bandwidth is limited, underwater acoustic communication has a low communicating data rate. Acoustic propagate in water at the speed of 1500m/s, so it will cause more severities Doppler Effect than radio wave.

According to data rate, underwater acoustic communication will be divided into high speed communication and low speed communication. And high speed communication will be applied in short-distance scene, and it works at high frequency band varying from tens of Kilo Hertz to hundreds of Kilo Hertz and uses OFDM modulation. Low speed communication will be applied in long-distance scene, and it works at low frequency band which varying from hundreds of Hertz to thousands of Hertz and users pulse position modulation, spread-spectrum communication or frequency-shift keying.

Traditional spread-spectrum communication technology is DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), it has enough robustness even in a low Signal to Noise Ratio, but its data rate is quite low. Compared with DSSS, M-ary cyclic shift keying will has a higher data rate, but its robustness declined sharply when the channel has a serious Doppler effect. In order to solve the DSSS and M-ary cyclic shift keying defection, a new modulation name Chirp-CSK (Chirp-cyclic shift keying) is proposed in this thesis. The modulation uses cyclic characteristics of chirp signal, and each symbol carries message by the duration of Chirp cyclic shift. The receiver user match filter to demodulate and restore message by position of match-filter outputting. In the single carrier system, the Chirp-CSK system will get a bandwidth efficiency of 0.5bps/Hz. As the Chirp signal has a better processing gain, the Chirp-CSK system has a robustness even in a low Signal to Noise Ratio environment.

The main content of this thesis is divided into five parts as following:

- I. Introducing the main spread-spectrum communication of underwater acoustic communication, and analyzing the advantages and disadvantages of these system.
- II. Designing a frame format scheme of underwater acoustic communication, channel estimation and time reversal technology.
- III. Analyzing the effect of multipath phenomena and Doppler on underwater acoustic channel, and designing a modulation based on Chirp-FRFT.
- IV. Based on the disadvantages of current underwater acoustic spread-spectrum communication, proposing a new modulation named Chirp-CSK. Analyzing its anti-multipath and anti-noise performance. The scheme is verified in sea environment.
- V. Summarization and prospect.

Keywords: Underwater Acoustic Communication; Chirp Signal

目录

摘要.....	I
ABSTRACT.....	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 论文的主要研究内容.....	4
第 2 章 水声通信系统框架.....	5
2.1 水声信道.....	5
2.1.1 传播损耗.....	5
2.1.2 阴影衰落.....	6
2.1.3 多径衰落.....	7
2.1.4 多普勒效应.....	7
2.2 帧格式的设定.....	8
2.2.1 唤醒段.....	8
2.2.2 保护段.....	9
2.2.3 同步段.....	9
2.3 信道估计与时反技术.....	10
2.3.1 信道估计.....	10
2.3.2 主动时反与被动时反.....	13
2.3.3 水声稀疏信道虚拟时反的实现.....	14
2.4 实验验证.....	16
2.4.1 MATLAB 仿真.....	16
2.4.2 海洋实验.....	19
2.5 本章小结.....	23
第 3 章 Chirp-FRFT 扩频.....	25
3.1 FRFT 与 Chirp 信号检测.....	25
3.1.1 Chirp 信号.....	25
3.1.2 Chirp 信号与 FRFT 变换.....	27
3.2 Chirp-FRFT 通信系统设计.....	34
3.2.1 通信方案设计.....	34

3.2.2 通信参数选择.....	38
3.3 方案实验论证	39
3.3.1 MATLAB 仿真	39
3.3.2 无消声水池实验.....	40
3.3.3 海洋实验.....	43
3.4 本章总结	45
第 4 章 Chirp-CSK 通信系统	47
4.1 Chirp-CSK 原理.....	47
4.1.1 Chirp-BOK 通信方式.....	47
4.1.2 Chirp-CSK 的提出	48
4.1.3 Chirp-CSK 的验证	50
4.2 Chirp-CSK 通信方案设计.....	54
4.2.1 Chirp 信号参数选择	54
4.2.2 Chirp-CSK 具体实现	56
4.3 方案实验论证	58
4.3.1 MATLAB 仿真.....	58
4.3.2 无消声水池实验.....	61
4.3.3 海洋实验.....	63
4.4 本章小结.....	67
第 5 章 总结与展望.....	69
5.1 主要工作和创新	69
5.2 下一步研究工作	70
参考文献.....	71
参与项目与发表论文.....	75
致谢.....	77

CONTENTS

ABSTRACT(In Chinese).....	I
ABSTRACT(In English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.2 Research Status	2
1.3 Thesis Research	4
Chapter 2 Underwater Acoustic Communication Framework.....	5
2.1 Underwater Acoustic Channel	5
2.2.1 Transmission Loss.....	5
2.1.2 Shadow Fading.....	6
2.1.3 Multipath Fading.....	7
2.1.4 Doppler Effect.....	7
2.2 Frame Design	8
2.2.1 Waking Segment	8
2.2.2 Protecting Segment	9
2.2.3 Synchronization Segment	9
2.3 Channel Estimation and VTRM.....	10
2.3.1 Channel Estimation.....	10
2.3.1 Active and Passive Time Reversal	13
2.4.2 Implement of Virtual Time Reversal.....	14
2.4 Experimental Verification	16
2.4.1 MATLAB Simulation.....	16
2.4.2 Sea Test	19
2.5 Summary	23
Chapter 3 Chirp-FRFT Spead Spectrum.....	25
3.1 FRFT and Chirp Detection.....	25
3.1.1 Chirp Signal	25
3.1.2 Chirp Signal and FRFT	27
3.2 Chirp-FRFT System Design	34
3.2.1 System Design	34

3.2.2 Parameter Selection	38
3.3 Experimental Verification	39
3.3.1 MATLAB Simulation.....	39
3.3.2 Pool Test.....	40
3.3.3 Sea Test	43
3.4 Summary	45
Chapter 4 Chirp-CSK System.....	47
4.1 Chirp-CSK Principle.....	47
4.1.1 Chirp-BOK System.....	47
4.1.2 Chirp-CSK Scheme.....	48
4.1.3 Chirp-CSK Verification	50
Chirp-CSK Design	54
4.2.1 Parameter Selection	54
4.2.2 Implement of Chirp-CSK.....	56
4.3 Experiment Verification	58
4.3.1 MATLAB Simulation.....	58
4.3.2 Pool Test.....	61
4.3.3 Sea Test	63
4.4 Summary	67
Chapter 5 Summary and Future Work	69
5.1 Summary of This Paper	69
5.2 Future Work	70
Reference	71
Research Achievement And Project Attended	75
Acknowledgements.....	77

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

随着人类活动范围的不断扩展以及信息产业不断发达,通信技术已经从地面和空中拓展到海洋。随着对海洋的不断开发,水下通信在国防以及民用领域上都有着极为深远的意义。

水下信道的固有特性决定了水下通信比无线通信具有更高的难度,吸引着越来越多的国内外专家学者参与水下通信技术的研究课题中。由于无线通信中采用的电磁波在水中会大幅度衰减,所以无法将电磁波作为水下通信的载体^[1]。最近半导体光器件的飞速发展给水下光通信带来了曙光,但由于不同的海水对不同的光波波长的吸收差别甚大,传播距离比电磁波在水下传播的距离较长,但是依然难以在较远的距离通信^[2],除此之外,光的传播方向性也给水下光通信带来了瓶颈。因而在水下环境只能采用声波作为信息传递的载体。

水声信道是一种多径效应强、传输延迟高、多普勒效应明显,频率选择性衰落和时间选择性衰落严重的信道^[3]。由于水声信道可用的带宽有限,所以通信速率较低。此外,声波在水的介质中传输速率只有 1500m/s,即便收发两端发生较小的相对运动也能导致比无线信道更加严重的多普勒效应^[4]。声音的传播速度慢也决定了水声通信的多径延迟比无线信道更大^[5]。由于声波传输时在海底、海面以及水下航行器经过多次的折射和反射,导致海洋信道的时变性强而且能量衰减较为严重^[6]。

按照信息的传输速率,可将水声通信的类型分为高速通信和低速通信,而按照工作频段分,可将分为高频、中频以及低频通信。由于海水介质对不同频率的声波的吸收系数不同,所以当选用的声波频率越高时衰减就越严重^{[7][8]}。由于吸收系数的缘故,近距离通信主要是采用频率较高的声波,主要集中在几十千赫兹到上百千赫兹的频带范围,主要采用的是正交频分复用等多载波通信技术方案,由于正交频分复用技术对多普勒非常敏感^[9],而且水声通信作为宽带系统,多普勒效应导致不同的频率产生的偏移不一致,所以多普勒效应更容易

破坏水声通信 OFDM 系统载波间的正交性, 而且多载波技术对水声功率放大器的线性度等要求比较高, 进一步提高了通信的难度。远距离的通信主要频带集中在几千赫兹到十几千赫兹, 由于远程通信具有较低的信噪^[10], 根据香农定理可知, 利用扩频通信方式降低通信速率以换信噪比降低对水声通信系统的影响, 常见的水声扩频技术有直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum)、M 元循环移位键控^[11]、Chirp 扩频技术、HFM 扩频技术以及脉冲位置调制^[12]等等。直接序列扩频等传统扩频方式对系统的同步要求非常苛刻, 且需要严格的复杂实时跟踪技术^[13], 且对多普勒效应对系统影响非常敏感, 实际应用时开销较大。Chirp 扩频技术具有较强的抗多普勒特性, 但由于 Chirp 信号本身占用了较大的带宽, 导致了通信速率较低^[14]。面对中远程通信调制体系的不足, 有人提出了利用双曲调频信号进行调制^{[15][16]}, 具有更好的多普勒容限, 但是依然存在着通信速率低的问题^[17]。

为了解决水声通信的这些问题, 根据 Chirp 匹配接收的特性, 文本提出了一种新型的 Chirp 调制方式, 设计了一种具备抗噪性能较高而且抗多径性能的通信系统, 在单载波的情况下依然具有较高的通信速率, 且保证了水下通信的鲁棒性, 并根据系统设计的需求提出了一种信道估计的方式, 以及根据水声信道特性探讨了水声通信的帧格式具体参数设置。

1.2 国内外研究现状

目前中远程水声通信主要以扩频为主, 常见的扩频技术有直接序列扩频、M 元循环移位、脉冲位置调制以及 Chirp-BOK 等技术。

为了提高无线通信的保密特性, Mortimer Rogoff 在 20 世纪 40 年代末 50 年代初发明 DSSS, 并将其用于军事方面的无线通信。直接序列扩频是在发送端利用高码片速率的扩频序列去扩展数字信号接着再通过载波进调制, 拓展了原始信号的频谱, 接收端经过利用相同的扩频序列去解扩已被扩展的数字信号从而解调出原始的数字信号。DSSS 是将传输的数据信息与伪噪声序列(pseudo

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.